

KUCCS

Study for Determination of Preconsolidation pressure and Consolidation coefficient Using KUCCS

1) , Tai-Jun Kim ,

2) , Moon-Joo Lee ,

3) , Sung-Jin Hong ,

4) , Woo-Jin Lee

1)

2)

3)

4)

SYNOPSIS : This paper is on determination method of preconsolidation pressure and consolidation coefficient using Kores University Calibration Chamber System(KUCCS). High-quality, large-size cohesive soil specimen was prepared by using two-stage slurry consolidation technique, which has many advantage for research and calibration purpose. The result from consolidation stage in KUCCS was compared with results of oedometer test. The results by Casagrande method gave very good agreement with preconsolidation pressure in slurry consolidometer. And, the predicted consolidation coefficient by log t method showed agreement with the experimental results in KUCCS.

Key words : Preconsolidation pressure, Consolidation coefficient, KUCCS

1.

연약지반에서의 안전하고 경제적인 설계 및 시공을 위해서는 지반의 정확한 기본 물성치 파악이 선행되어야 한다. 지반의 공학적 특성파악을 위해 일반적으로 수행되는 시험은 크게 실내시험과 현장시험으로 구분할 수 있으며, 이 두 방법 모두 각각의 장·단점을 가지고 있다. 실내시험의 경우, 정밀하게 시험을 수행할 수 있다는 장점은 있는 반면, 시료채취 및 이동에 따른 시료교란 및 현장조건을 그대로 재현할 수 없다는 단점이 있다. 그리고, 현장시험의 경우, 원위치에서 직접 시험할 수 있는 장점은 있으나, 현장에서 발생하는 여러 요소의 영향을 고려한 정확한 결과 해석 및 적용이 어렵다는 단점이 있다. 또한 이러한 시험들은 현장지반의 정확한 응력 이력을 알 수 없으므로, 실시한 시험의 정확성을 명확하게 판단 할 수 없다는 문제점을 안고 있다. 그러므로, 현장에서 발생하는 여러 요소들이 시험결과에 미치는 영향을 명백히 파악할 수 있다면, 더욱 향상된 현장 시험결과를 이용한 합리적 설계가 이루어질 수 있을 것이다.

이와 같은 목적으로 제안된 방법이 대형 Calibration Chamber System을 이용한 연구인데, 현장에서 발생 가능한 주요 영향 요소와 현장 시험 결과와의 상관관계를 이용하여 그에 대한 해석 방법을 연구하는 것이다. 외국의 경우, 많은 연구기관에 의해 수행된 실적이 있으나, 국내의 경우 거의 전무한 상태이므로, 현장 지반 조사 수행 및 결과 해석 시 외국의 기준 및 이론을 그대로 사용하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 과학 재단의 지원 아래, 국내에서 최초로 개발되어 활발히 연구 진행 중에 있는 고려

대학교의 대형 Calibration Chamber System(일명 KUCCS)에 대한 간략한 소개와 더불어, 대형 시료에서의 압밀과정중 얻어진 결과를 이용하여 기존의 선형 압밀 하중 결정법과 압밀계수 결정법에 대한 신뢰성을 고찰해 보았다.

2. KUCCS(Korea University Calibration Chamber System)

KUCCS은 기존의 System들이 가지고 있던 문제점들을 보완하여, 지속적으로 우리가 원하는 Stress history와 경계 조건을 가진 균질한 시료를 조성한 후, Piezocone을 이용하여 점성토에 대한 공학적 특성을 연구할 수 있도록 개발된 대형 침단 실험 장비이다. 시스템은 크게 Slurry Cosolidometer와 Calibration Chamber, Control panel, Data acquisition system, 콘 관입 장치 및 Piezocone, 기타 보조 장치 등으로 구성되어 있다.

현재 개발된 KUCCS은 많은 장점들을 가지고 있으나, 그 중 가장 대표적인 특징들에 대해 살펴보면, 첫 번째로 장비의 대형화에 따른 Size effect와 Boundary effect의 최소화, 시료의 대형화에 따른 실험 결과의 양적인 증가이다. 두 번째로는 기존 Chamber의 경우, 1차 압밀 완료 후 자립된 시료를 Piston 위로 옮겨 2차 압밀을 수행하는 과정에서, 시료 이동 중 시료가 교란되거나 손실될 위험이 있었으나, KUCCS은 1차 압밀과 2차 압밀이 시료의 이동 없이 모두 하나의 Piston위에서 수행될 수 있도록 하부 Piston부를 수정 보완하여 실험의 효율성 및 안정성이 증대되었다. 세 번째로는 Inner cell과 Outer cell의 양 끝단을 일체화시켜, 본래의 기능을 수행함과 동시에 Double Wall의 이동을 용이하게 하여 실험상의 불안정 요소를 해소하고, 더불어 실험 장비의 보관 및 설치에 따른 손상을 최소화 할 수 있다. 네 번째로 시료의 경계조건 조절을 위한 Control panel의 작동이 실험 과정에 따라 선택적으로 자동모드와 수동모드로 분류하여 수행할 수 있다. 다섯 번째로 Calibration Chamber 위에 설치되어 있는 관입 추진장치를 통한 정확한 속도 및 심도의 측정이 가능하도록 하기 위하여, 콘 자체내에 설치된 센서와 관입 장치에 설치된 센서에서 데이터를 동시에 획득하여 비교할 수 있게 하였다. 마지막 특징은 각 실험 과정 중에 발생하는 센서로의 결과들을 그래픽 지원이 뛰어난 상용 프로그램인 LabView Program으로 저장한다는 것이다.

2.1 Slurry Consolidometer

Slurry Consolidometer는 우리가 원하는 대형 점성토 시료를 만들기 위하여, Slurry 상태의 시료를 자립 가능하도록 압밀시켜 주는 장비이다. 이를 위해 분말 상태의 점토와 모래에 액성 한계 두배의 물을 배합하여 소정의 압밀 하중을 가해 시료를 조성하는 Slurry Method이 사용된다. 이와 같은 시료 조성 방법은 자연 상태에 가까운 균질한 시료 조성을 위하여 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 방법이다.

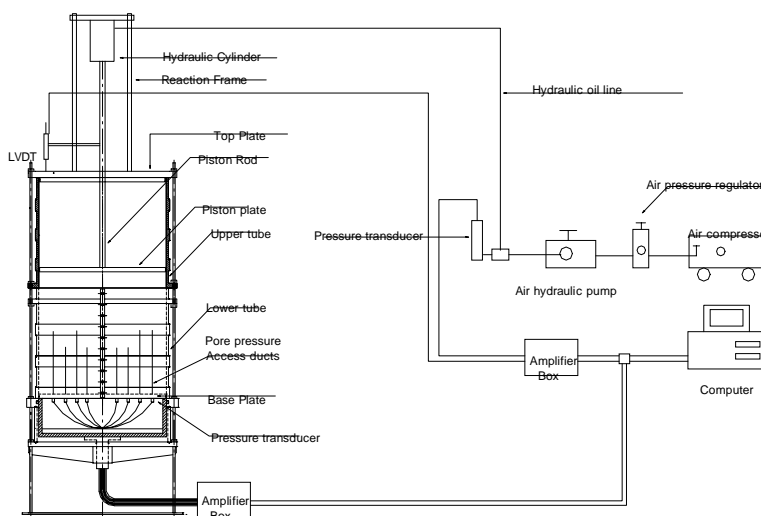


그림 1. Slurry Consolidometer 구성도 및 사진

2.2 Calibration Chamber

Calibration Chamber는 Slurry Consolidometer에서 소정의 하중으로 압밀 완료된 시료의 강성벽 효과를 제거함과 동시에, 1차적으로 압밀된 시료를 우리가 원하는 경계조건인 등방 또는 k_0 상태로 재 압밀 시켜주는 장비이다. 그리고 최종적으로 이와 같이 조성된 시료를 통해 Piezocone의 관입/소산 시험이 수행된다.

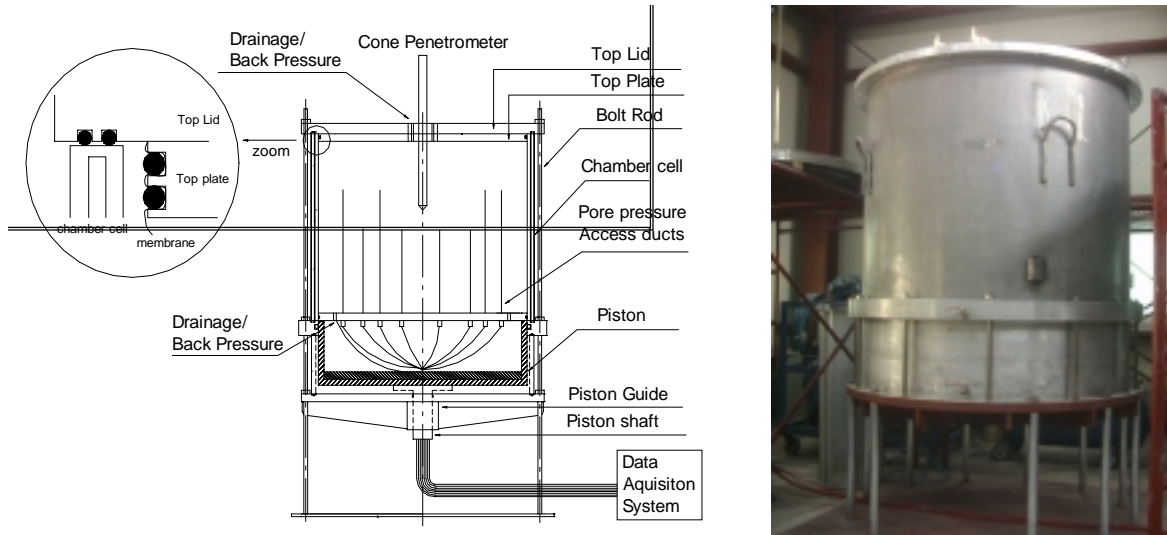
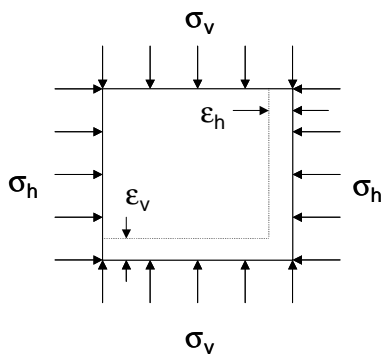


그림 2. Calibration Chamber 구성도 및 사진

3. 압밀 시험 결과

기존의 선행 압밀 하중 결정법과 압밀계수 결정법에 대한 고찰을 수행하기 위하여, Slurry consolidometer에서 하중 1.6kg/cm^2 로 압밀 완료된 시료를 Slurry Consolidometer에서의 강성벽 효과를 제거하고 피에조 콘 관입 시험을 수행하기 위하여 수직하중 2.0kg/cm^2 로 압밀시켰다. 이때의 시료 경계조건은 수평 방향으로의 변위를 억제하여 자연지반 상태를 묘사하기 위하여 BC3를 적용하였다. 그리고, KUCCS를 통한 압밀 결과와 기존의 추정방법들과의 비교 분석을 위하여, Slurry Consolidometer에서 압밀 완료된 시료를 3지점에서 샘플링하여, 표준 압밀시험을 수행하였다.



경계조건 1 : σ_v 일정, σ_h 일정

경계조건 2 : $\Delta\epsilon_v=0$, $\Delta\epsilon_h=0$

경계조건 3 : σ_v 일정, $\Delta\epsilon_h=0$

경계조건 4 : $\Delta\epsilon_v=0$, σ_h 일정

그림 3. KUCCS의 재현 가능 경계조건

3.1 KUCCS에서의 압밀 시험 결과

KUCCS에서의 압밀 시험 결과는 시료에 설치된 LVDT와 시료의 내부에 설치된 피에조미터를 통해 그 압밀도를 시간별로 확인하였으며, 최종적인 압밀 완료 시점은 피에조미터의 과잉간극수압 소산도를 통해 결정하였다. 아래의 시험결과는 Slurry consolidometer에서 초기 하중 1.6kg/cm^2 로 압밀된 시료를, 최종적으로 Chamber에서 수직하중 2.0kg/cm^2 의 Ko 상태로 압밀한 경우에 측정된 시간별 침하량과 과잉간극수압이다.

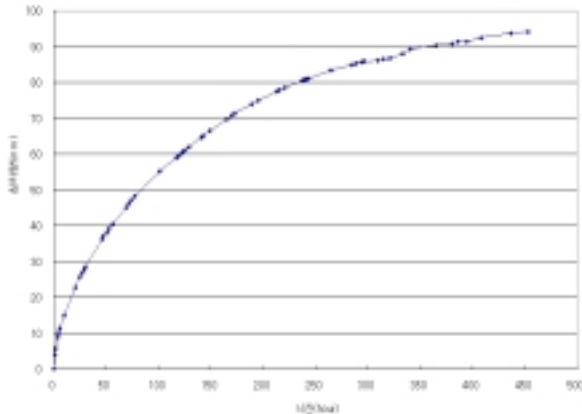


그림 4. 침하량 그래프

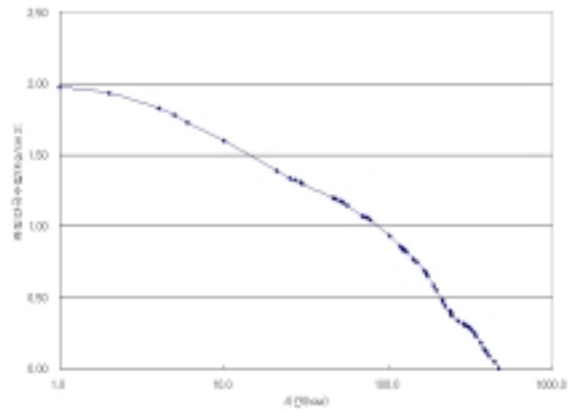


그림 5. 과잉간극수압소산 그래프

3.2 표준압밀시험 결과

기존의 방법을 통한 선행압밀하중과 압밀계수 추정을 위하여, Slurry consolidometer에서 1.6 kg/cm^2 로 압밀 완료된 시료를 동일 심도의 3지점에서 샘플링하여 표준압밀시험 수행하였다. 그리고 각 하중 단계별 압밀 계수 추정은 현재까지 제시된 여러 방법들 중 가장 일반적으로 사용하고 있는 Log t 방법과 \sqrt{t} 방법을 이용하여 추정하였으며, 그 결과는 아래 표와 같다.

표 1. 각 시료별 추정 압밀계수

시료 A			시료 B			시료 C		
응력 (kg/cm^2)	$C_v(\text{cm}^2/\text{min})$		응력 (kg/cm^2)	$C_v(\text{cm}^2/\text{min})$		응력 (kg/cm^2)	$C_v(\text{cm}^2/\text{min})$	
	Log t 법	\sqrt{t} 법		Log t 법	\sqrt{t} 법		Log t 법	\sqrt{t} 법
0.4	0.105	0.166	0.4	0.082	0.130	0.4	0.071	0.151
0.8	0.103	0.131	0.8	-	0.150	0.8	0.074	0.176
1.6	0.097	0.147	1.6	0.084	0.144	1.6	0.083	0.112
3.2	0.080	0.123	3.2	0.079	0.098	3.2	0.056	0.106
6.4	0.093	0.119	6.4	0.081	0.098	6.4	0.090	0.103
12.8	0.109	0.114	12.8	0.109	0.102	12.8	0.102	0.157
평균	0.098	0.133	평균	0.087	0.120	평균	0.079	0.136

3.3 선행압밀하중 결정법 비교

압밀 시험 결과를 이용한 선행압밀하중의 결정은 기존에 제안된 많은 방법들 중 Casagrande방법(1936년),

Strain Energy 방법(Becker, et al. 1987), Log-Log 방법(Jose, et al.1989)을 이용하였다.

세 가지 방법을 통한 선행압밀하중 추정 결과, Casagrande 방법을 통한 추정치가 slurry consolidometer에서 실제적으로 재하된 하중 1.6kg/cm^2 과 가장 잘 일치하며, Strain Energy 방법 또한 정확하게 선행압밀하중을 추정하고 있다. 그러나, Log-Log 방법은 실제의 선행압밀하중보다 약 10% 정도 과소평가하는 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

표 2. 선행압밀 추정법에 따른 선행압밀 하중

시료 A		시료 B		시료 C	
실험 방법	선행압밀하중 (kg/cm^2)	실험 방법	선행압밀하중 (kg/cm^2)	실험 방법	선행압밀하중 (kg/cm^2)
Casagrande	1.65	Casagrande	1.60	Casagrande	1.60
Strain Energy	1.63	Strain Energy	1.60	Strain Energy	1.64
Log-Log	1.5	Log-Log	1.4	Log-Log	1.4

3.4 압밀계수 결정법 비교

압밀 계수 결정법에 대한 고찰은 가장 일반적으로 사용되고 있는 Log t 방법과 \sqrt{t} 방법을 이용하여 각 하중 단계별로 추정된 압밀계수와 Chamber에서의 압밀도 50%와 90%에 해당하는 압밀계수를 산정하여 수행하였다. 여기서, Log t 방법과 \sqrt{t} 방법을 이용하여 추정한 결과들 중, Chamber에서의 압밀 하중이 2.0kg/cm^2 임을 감안하여 1.6kg/cm^2 값을 대표값으로 정하였다.

비교 결과, 아래 표에서와 같이 Chamber에서의 LVDT를 통해 얻어진 수직변위를 이용하여 구한 t_{50} 과 t_{90} 에서의 압밀계수는 큰 차이가 없었으나, Oedometer test를 통해 구한 압밀계수는 그 방법에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 특히, Log t 방법에 의해 추정된 압밀계수는 Chamber에서 추정된 결과와 어느 정도 일치되는 경향을 보이고 있으나, \sqrt{t} 방법에 의한 압밀계수는 Log t 방법에 의해 추정된 결과보다 약 1.3 ~ 1.5배 정도 과대평가하고 있다.

표 3. Calibration Chamber 과 압밀실험 C_v 값 비교

Calibration Chamber C_v			압밀실험 C_v 값(cm^2/min)			
추정 방법	시간(min)	$C_v(\text{cm}^2/\text{min})$	추정 방법	시료 A	시료 B	시료 C
t_{50}	4,540	0.0918	Log t 법	0.097	0.084	0.083
t_{90}	17,496	0.1026	\sqrt{t} 법	0.147	0.144	0.112

4. 결론

국내에서는 최초로 개발되어 연구되고 있는 대형 Calibration Chamber System을 이용한 압밀시험결과를 이용하여 기존의 선행압밀하중 결정법과 압밀계수 추정방법에 대한 신뢰성을 고찰해 보았다. 본 연구의 가장 큰 장점은 시료 조성과정중의 응력 이력을 정확하게 제어할 수 있는 KUCCS를 통해 얻어진 시험 결과를 사용하였다는 점이며, 그 결과는 아래와 같다.

1. 선행압밀하중 결정법에 대한 분석 결과, 가장 일반적으로 사용되고 있는 Casagrande 방법이 실제 KUCCS에서 재하된 하중 값과 가장 근접하게 추정하고 있다. 그리고, Strain Energy 방법 또한 근접한 결과를 보이고 있으나, Log-Log 방법만이 약 10% 정도 과소평가하는 결과를 보이고 있다. 본 연구에서 신뢰성 분석을 위해 사용

된 선행압밀하중은 Slurry Consolidometer에서 재하된 수직하중을 시료내부에 설치된 피에조미터를 통해 압밀 완료시점까지 지속적으로 관찰하여 결정된 값이다. 그러므로, 신뢰성 검증을 위한 기준값이 매우 정확하게 결정 되었다는 점을 감안해볼 때, Casagrade 방법에서의 선행압밀하중 추정이 가장 신뢰성 높은 결과일 것으로 판단 된다.

2. Chamber에서의 Ko모드에 의한 압밀결과를 이용한 압밀계수 추정결과와 기존의 Log t 방법과 \sqrt{t} 방법을 이용한 압밀계수 추정결과를 비교해 보았다. 그 결과, Chamber에서의 압밀도 50%와 90%에 해당하는 압밀 계수를 산정한 결과 두 값은 큰 차이를 보이지 않았으며, 표준압밀시험 결과를 이용하여 추정된 압밀계수는 해석방법에 따라 큰 차이를 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 특히, Log t 방법에 의해 추정된 압밀계수는 Chamber에서 추정된 결과와 어느 정도 일치되는 경향을 보이고 있으나, \sqrt{t} 방법에 의한 압밀계수는 Log t 방법에 의해 추정된 결과보다 약 1.3 ~ 1.5배 정도 과대평가하고 있었다. 그리고, Chamber에서의 압밀과정을 통해 추정된 압밀계수와 Log t 방법에 의해 추정된 압밀계수가 매우 유사한 결과를 보였다. 그러므로, Chamber에서의 압밀시험이 Rigid Wall효과가 배제된 상황에서 과잉간극수압의 발생, 소산 경향과 침하량을 시간 별로 확인하며 추정된 결과이므로, Chamber에서의 결과를 통해 추정된 결과와 근접한 결과를 보이고 있는 Log t 방법이 \sqrt{t} 방법에 비해 좀 더 정확한 압밀계수를 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 2000년 목적기초연구지원사업(과제번호:R01-2000-000-00374-0)에 의해 이루어진 것으로 이에 한국재단에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Jose, b. t., Sridharan, A., Abraham, B. M.(1989), "Log-log Method for Determination of Preconsolidation Pressure," Geotechnical Testing Journal, Vol. 12, No. 3, pp. 230-237.
2. D. E. Becker, J. H. A Crooks, K. Been, M. G. Jefferies(1987), "Work as a Criterion for Determining In-Situ and Yield Stress in Clays" Canadian Geotechnical Journal, Vol. 24., No. 4, pp. 549-564
3. Campanella, R. G. And Vaid, V. P.(1972), "A simple K0 Triaxial cell", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 9, pp. 249.
4. Huang, A. B., Holtz, R. D. and Chameau, J. L. (1988), "A Calibration Chamber for Cohesive Soils", ASTM Geotechnical Testing Journal, Vol. 11, No.1, pp.30-35.
5. Krizek, R. J. and Sheeran, D. E.(1970), "Slurry Preparation and Characteristics of Samples Consolidated in Slurry Consolidometer", Technical Report No. 2, Contract No.DACW39-70-C-0053, U.S. Army Corps of Engineer, Water ways Experiment Station, Vicksburg, MS,pp.1-5.
6. Lim, B. (1999), "Determination of Consolidation Characteristics in Fine Grained Soils Evaluated by Piezocone Tests", Ph.D. Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University.
7. McManus, K. J. and Kulhawy, F. H.(1991), "A Cohesive Soil for Large-Size Laboratory Deposits", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 14, No. 1, pp. 26-34.
8. McManus, K. J. and Kulhawy, F. H.(1993), "Preparation of Large-Size Laboratory Deposits of Cohesive Soil", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol.16, No.3, pp. 372-383.
9. Sheeran, D. E. and Krizek, R. J.(1971), "Preparation of Homogeneous Soil Samples by Slurry Consolidation", Journal of Materials, Vol. 6, No. 2, pp. 356-373.
10. Sheeran, D. E. and Krizek, R. J.(1970), "Slurry Preparation and Characteristics of Samples Consolidated in Slurry Consolidometer", Technical Report No. 2, Contract No.DACW39-70-C-0053, U.S. Army Corps of Engineer, Water ways Experiment Station, Vicksburg, MS,pp.1-5.